

# L'INTERACTION ENTRE LE PHOTO ET LE RADIO-NOIRCISSEMENT DANS LES FIBRES ALUMINOSILICATES DOPEES YTTERBIUM

Jean-Bernard DUCHEZ, Franck MADY, Yasmine MEBROUK, Mourad BENABDESSELAM

Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Université Nice Sophia Antipolis, UMR CNRS 7336,  
Parc Valrose, 06108 NICE CEDEX, France

[jbduchez@unice.fr](mailto:jbduchez@unice.fr)

## RÉSUMÉ

Nous présentons des caractérisations originales de photo-radio-noircissement dans des fibres en silice dopées Ytterbium soumises à l'action simultanée de la pompe et de radiations ionisantes externes. Nous présentons l'interaction entre ces deux types de rayonnements, montrant ainsi que la pompe est capable de noircir ou blanchir la fibre en fonction de la dose de radiations ionisantes. La photorésistance de la fibre semble jouer un rôle important sur sa radiorésistance dans les environnements à bas débits de dose. Tous ces résultats sont pleinement expliqués par un modèle physique présenté dans une soumission séparée de Mady *et al.*

**MOTS-CLEFS :** *Fibres optiques, radiations.*

## 1. INTRODUCTION

Les fibres optiques en silice dopées ytterbium (FDY) peuvent souffrir d'une double dégradation lorsqu'elles sont utilisées dans des conditions amplificatrices et des environnements radiatifs. Des pertes optiques sont induites par les rayonnements ionisants externes (radio-noircissement ou RN), mais aussi, par la pompe elle-même (photo- noircissement, PN). PN et RN des FDY ont déjà été bien caractérisé, mais séparément, par des communautés distinctes. L'interaction entre PN et RN n'a été ni caractérisée, ni modélisée, bien que la pompe et les radiations ionisantes soient en jeu simultanément dans certaines conditions de fonctionnement, comme pour les applications spatiales. Nous présentons ici une étude expérimentale de photo-radio-noircissement (PRN) simultanés. Les résultats montrent que le niveau de PN est de première importance dans la résistance au RN. Un travail complémentaire de Mady *et al.*, également soumis à cette conférence, présente un modèle qui explique tous les résultats expérimentaux présentés ici.

## 2. MÉTHODE EXPERIMENTALE

Le banc de mesure est basé sur un schéma pompe-sonde [1] avec un pompage contra-propagatif (977 nm, ~230 mW) et une sonde visible (633 nm, quelques mW). On utilise des multiplexeurs personnalisés (OZ-optique) pour coupler pompe et sonde dans la fibre sous test (FST). Deux FDY ont été comparés. La fibre K10 (0,9% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,3% Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NA = 0,11), fabriquée et élaborée dans notre laboratoire, elle n'est pas optimisée pour résister au PN ni au RN, une fibre commerciale (nLight Yb1200-4/125, NA = 0,2), vendue comme ayant un faible PN. Les FST sont des échantillons dénudés de ~ 2 cm de long irradiés en ligne, avec ou sans pompe, par un générateur de rayons X (anode en cuivre, 45 kV).

## 3. RÉSULTATS

Les effets du PN et PRN sur l'échantillon K10 sont présentés sur la Fig. 1. Lorsque la FST est pompée dans le coeur, la puissance de sortie de la pompe décroît à cause du PN, mais tend vers un niveau stable. Un tel équilibre du PN a déjà été observé, et examiné attentivement par Jetschke *et al.* [2], qui nous informe que ce niveau d'équilibre est déterminé par la puissance de pompe et le taux d'inversion des ions Yb<sup>3+</sup>. Ainsi la pompe n'est pas seulement source de PN, mais aussi responsable d'un effet de photo-blanchiment (PB), qui équilibre le PN au temps longs.

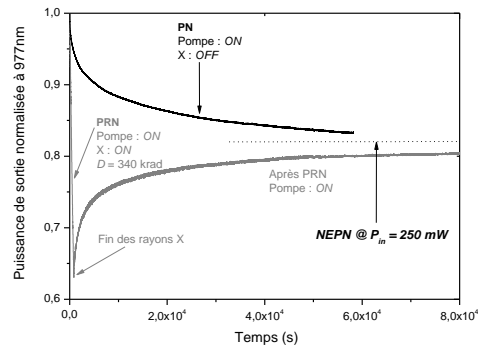


Fig. 1. Décroissance de la puissance de sortie normalisée à 977 nm pour K10, PN pur et PRN.

La même fibre K10 (nouvel échantillon) a été soumise à une expérience de PRN: elle a été irradiée par des rayons X (22,7 de Krad (SiO<sub>2</sub>) min<sup>-1</sup>, 340 krad (SiO<sub>2</sub>)) pendant le pompage, puis, après la fin de l'irradiation aux rayons X, laissée à la seule action de la pompe. Dans l'étape PRN, la puissance de sortie de la FST décroît très rapidement (manifestement la cinétique est celle du RD). Ensuite, cette FDY est photo-blanchie par la pompe: la puissance de sortie tend à croître et retourner au même niveau d'équilibre que le PN pur. La pompe est donc aussi capable de blanchir le PRN, qui est essentiellement dû au RN. Cela démontre une interaction fondamentale entre le PN et le RN, et souligne le rôle crucial du niveau d'équilibre du PN (NEPN). Il n'est pas surprenant que la pompe blanchisse à la fois le PN et le RN. En effet notre équipe a déjà démontré que les états piégés responsables du PN et du RN dans les FDY sont identiques [3]. Des expériences similaires ont été effectuées à différentes doses (K10, nouveaux échantillons). Les résultats sont présentés dans la Fig. 2 pour les longueurs d'onde de la pompe et de la sonde. Une échelle log-log est utilisée pour agrandir la région du PRN. Aux deux doses les plus élevées, le résultat est le même que dans la Fig. 1: PRN suivi de PB induit par la pompe. Lorsque les rayons X sont arrêtés à 45 krad, le niveau de puissance de sortie est toujours au-dessus du NEPN et la pompe continue la dégradation, c'est à dire le PN. Toutes les courbes tendent vers le NEPN. Par conséquent, l'action primaire de la pompe (PN ou PB) dépend de la dose ionisante. Des comportements similaires sont toujours observables pour la pompe et la sonde, même si la dégradation est plus importante dans le domaine du visible.

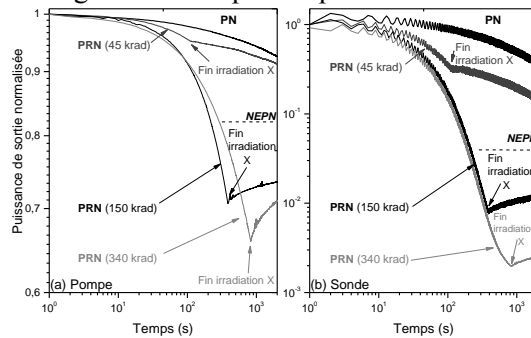


Fig. 2. PN et PRN de K10 à diverses doses à 977 nm (a) et 633 nm (b).

Pour mettre en évidence l'effet de la pompe pendant le PRN, des doses identiques ont été administrées, avec et sans pompe (conditions RN et PRN), pour les fibres K10 et Yb1200. Les résultats sont exposés sur la Fig. 3, maintenant en termes de coefficient d'excès d'absorption ( $\Delta\alpha$ ). Deux doses ont été utilisées: l'une est petite (30 krad) pour garder la dégradation radio-induite en dessous du NEPN, l'autre est élevée (450 krad) pour dépasser ce niveau. À la même puissance de pompe en entrée, la fibre Yb1200 a un NEPN beaucoup plus faible que notre fibre K10. Elle présente également une meilleure résistance aux rayons X (les deux fibres montrent des niveaux de RN ou de PRN dans des proportions similaires à l'égard de leur NEPN). A faible dose, en dessous du NEPN, les deux fibres sont moins noircies en RN que dans les conditions du PRN. La pompe accélère donc la dégradation. Pour la dose au-dessus du NEPN, le RN apporte plus de dégradation

que le PRN, donc la pompe ralentit la dégradation. La pompe a donc le même effet PN ou PB pendant qu'après le PRN, en fonction de la dose. En raison de son action de PB, la pompe peut atténuer le RN à des doses élevées. Le PRN tend également à atteindre un état stationnaire au-dessus du NEPN pour des irradiations de longue durée, gelant ainsi le niveau du PRN malgré l'irradiation continue. La diminution du débit de dose va abaisser cet état d'équilibre du PRN près du NEPN. Pour étudier l'impact du débit de dose sur le niveau d'équilibre du PRN, nous avons appliqué une même dose élevée (900 krad) pour les fibres K10 et Yb1200, en abaissant le débit de dose moyen. Pour illustrer le PB par la pompe, nous n'avons pas utilisé des débits de dose plus faibles, mais séparons la dose en 1, 3, 6 et 12 fractions, en observant un temps de PB de 75 min entre chaque fraction. Les résultats sont présentés dans la Fig. 4. Pour les deux fibres, le PRN moyen tend ainsi vers une valeur d'équilibre qui décroît avec le débit de dose moyen. Dans des conditions de très faible débit de dose, le PRN sera minimal et égal au NEPN. Le RN se développera alors très lentement de sorte que la pompe blanchira la fibre "adiabaticquement" dès que le niveau du PRN dépassera le NEPN (saturation du PRN au NEPN). Nous ne pouvions pas atteindre les débits de dose très faible tels ceux généralement rencontrés dans l'espace (trop longues expériences), mais le modèle validé et présenté dans le document de Mady *et al.*, qui reproduisent nos expériences, nous a permis d'extrapoler le comportement observé à de faibles débits de dose où le PRN est bien trouvé comme saturant au NEPN. Ces résultats ont des conséquences importantes sur la compréhension et l'évaluation de la résistance des FDY pour les applications concernées par le PRN.

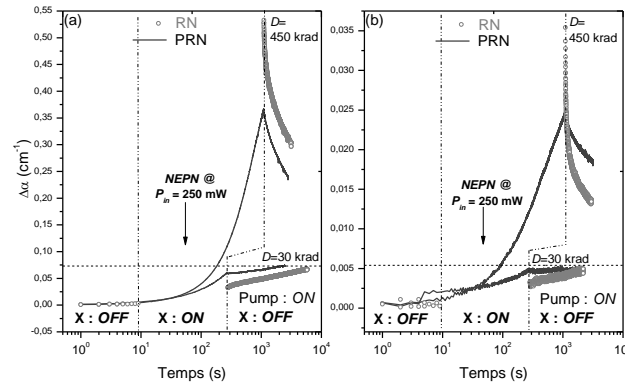


Fig. 3. Pertes  $\Delta\alpha$  à 977nm, avec des doses de 30 et 450 krad, pour K10 (a) et Yb1200 (b). Effet de la pompe durant le PRN.

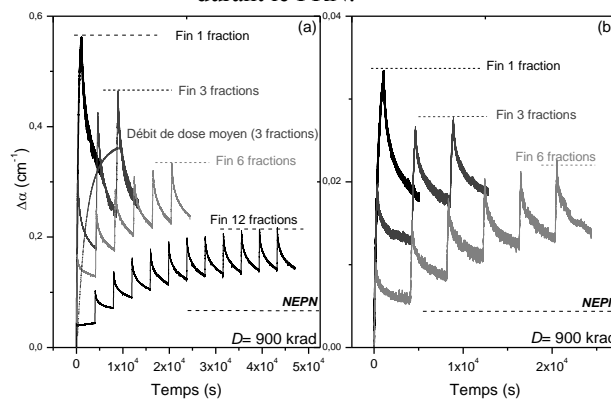


Fig. 4. Pertes  $\Delta\alpha$  sur K10 (a) et Yb1200 (b) après une dose de 900 krad donné en 1, 3, 6 et 12 fractions.

## RÉFÉRENCES

- [1] L. Nanxi et al., Photonics Techno. letters, 26, 115-118, 2014.
- [2] S. Jetschke et al., Opt. Express 15, 14838-14843, 2007.
- [3] F. Mady et al., Opt. Lett. 35, 3542-3543, 2010.